

# 博士論文審査結果報告書

## 論 文 題 目

### ユビキタスサービス環境における 分散検索技術に関する研究

申 請 者  
土屋 健

情報生産システム工学専攻  
知能化ネットワーク研究

2009 年 2 月

本論文では、様々なセンサ、携帯端末、パソコンなどが偏在するユビキタスサービス環境において、各ノード(ピア)に分散するサービス、デバイスデータ、ファイルなど各ピアの持つ情報(以下、総称してオブジェクトと呼ぶ)を対象とするピア主導で形成される検索サービスを実現する分散検索技術と、その検索技術を活用した分散ストリーミングサービスの接続技術を述べている。具体的には、(課題1)不安定な P2P(Peer-to-Peer)型オーバーレイネットワークを構成するピアから、それらオブジェクトの検索に必要なインデックスを分散管理するための複数からなるピアの選定技術、(課題2)インデックスのベクトル空間を P2P 型オーバーレイネットワークにより形成する構造型モデルによる分散検索と、従来のクライアント・サーバ型検索との比較によるユーザから見たサービス性の評価、(課題3)非構造型モデルと、構造型モデルによる異なる分散検索技術の比較と実現性の評価、そして(課題4)前述した(課題1)～(課題3)に基づく検索技術による分散ストリーミングサービスへの応用技術を明らかにしている。

本論文では、以上の4つの課題に対して著者により提案された技術が述べられると共に、評価によるその有効性が示されている。また、提案技術を試作したソフトウェア、及び P2P 型オーバーレイネットワーク上の多数のピアを想定したシミュレータによる評価を行うことで、提案する技術のサービス性と、実サービスとしての実現性を明らかにしている。提案技術が今後のユビキタスサービス環境における検索サービスとして有用であること、ピア主導で構築される P2P 型オーバーレイネットワークのアプリケーションにおいて利用の可能性の高い基本サービスとなることから、ユビキタスサービス環境における中核技術として利用が期待できる技術であることを述べている。以下、各章ごとにその概要を示し評価を与える。

第1章「序論」では、先ず研究の背景を述べている。様々な環境に存在するノードによって構成されるユビキタスサービス環境下での検索サービスの実現には、分散するオブジェクトを P2P 型オーバーレイネットワークにより共有化し、そのアプリケーションとして検索サービスを構築することが望ましいことを述べている。同時に、この P2P 型分散検索サービスは従来の web サーバのコンテンツを対象とする検索サービスとは異なり、検索対象となるオブジェクトの消失、変動が頻繁に発生するため、これら問題への対応が必要となることが述べられている。第1章では、このようなピアによって構成される分散検索サービスを実現するための構成技術として前述した4つの課題を抽出し、各課題へのアプローチを述べている。

第2章「インデックス管理ピアの選定技術」では、第1章で挙げた(課題1)に対し、P2P 型オーバーレイネットワークを形成するピア環境を述べ、それらピアからインデックスの生成と管理を担当する複数のピア(管理ピア)を選定する技術を明らかにしている。具体的には各ピアがアプリケーションレベルで実行するテストの結果に基づき、P2P 型オーバーレイネットワークのピアをつかさどる物理ネットワーク環境、CPU 処理能力、それらの安定性などを推定し、これらの結果を統合的に評価することで管理ピアを決定する手法を提案している。また、この管理ピアの予期しない離脱、障害への対応として、管理ピアのバックアップピアを配置し、情報の

複製による安定性と冗長性を確保する手法について提案している。試作したソフトウェアにより、想定される利用環境における機能評価、動作確認を行い、本技術の有効性を明らかにしている点を評価することができる。

第3章「構造型モデルによる分散検索技術」では(課題2)に対し、インデックス分散協調管理手法による分散検索技術を提案している。検索対象のオブジェクトから生成されるインデックスは、ベクトル次元ごとに管理ピアの協調により構築されるベクトル空間(リングモデル)において配置、管理される構造型モデルであることを述べている。具体的には、各管理ピアで管理する各オブジェクトを単位とする統計情報を各管理ピアで生成し、管理ピア間で同期することによりP2Pオーバーレイネットワーク上でインデックスを分散協調管理する技術を明らかにしている。検索時には、入力された検索クエリに対応した構造型化された論理空間の検索範囲を決定し、その範囲に存在するインデックスと類似判定を行うことで検索結果を決定することを述べている。インデックス分散協調管理手法の評価のためにシミュレーションにより、サービス性を明らかにし、分散検索においても従来の検索サービスと同程度の検索品質を実現できることを述べている。一方で、頻繁に発生する統計情報の更新に起因した検索サービスとしての応答性低下と、オブジェクトとインデックスの乖離による検索サービスの品質低下とのトレードオフが存在することを明らかにしている。その結果、ユーザへのサービス性の検討から、管理ピアのスケーラビリティが数管理ピア～10管理ピア程度に制限されるという課題を明確にし、実サービスとして運用する場合の課題を明確にしている点が評価できる。

第4章「非構造型モデルによる分散検索技術」では(課題3)に対し、インデックス独立管理手法による分散検索技術を提案している。この手法では各管理ピアが独立してインデックスの生成・管理を行う非構造型モデルにおける分散検索技術を述べている。このとき、検索精度の課題から、各管理ピアが導出したオブジェクトの統計情報のみがALM(Application Layer Multicast)を利用して管理ピア間で協調されることを述べている。検索クエリの伝播にもALMが利用され、数ホップで多くのピアへの統計情報とクエリの通知が可能となることを述べている。検索時には、検索クエリを受信した各管理ピアは管理するインデックスを検索し、その結果を検索クエリが入力された発信元ピアへ通知する。検索クエリ発信元ピアでは各管理ピアから受信した検索結果を検索クエリとの類似度に基づいてソートを行い、クエリを入力した利用者に対して検索結果を決定する。インデックス独立管理手法の評価として、試作したソフトウェアによるシミュレータを構築し、構造型モデル及びクライアント・サーバ型モデルとの比較評価を行っている。結果から、独立管理手法は、構造型モデルである分散協調管理手法と比較して、管理ピアスケーラビリティが優れており、さらにクライアント・サーバ型の検索サービスと同等の検索品質を提供していることを明らかにしている。また、独立管理手法はインデックス値に基づく構造型を持たないランダム性の特質から、負荷分散、耐故障性において優れるが、一方で検索に関わる管理ピアの負荷が大きくなるといったシステ

ムとしての特性を明確にしている点が評価できる。

第 5 章「分散ストリーミングサービスへの応用」では、(課題 4)に対し、P2P 型オーバーレイネットワーク上に分散するストリーミングサービスの提供技術を述べている。ストリーミングサービスを実現するピア間の接続には、サービス提供に関わるピアが、お互いに同一のコデックとストリーム制御手法を利用することが必須となる。そのため、各ピアを単に接続してもサービスを提供できないという問題がある。これに対処するために、P2P 型オーバーレイネットワークによるストリーミングプラットフォーム技術を提案している。このプラットフォームに本研究で提案している分散検索技術と、管理ピア選定技術を活用することにより、それぞれのストリーミングサービス環境に対応した適切なコデック変換とストリーム制御手法を提供するピアをプラットフォームが、自律的に検索・発見し、それらピアを中継したピア間接続サービスを提供することで安定したストリーミングサービスを実現するストリーム管理制御機能を提供することを述べている。P2P 型オーバーレイネットワーク環境への適用性の評価として、ソフトウェアによるエミュレータを試作し、ピア数が増加した場合でも提案するプラットフォームが、安定したストリーミングサービスを提供できる特性を有することを明確にしている点が評価できる。

最後の第 6 章「総括」では、以上の本研究で示したユビキタスサービス環境における分散検索技術を総括している。ピア主導で構築される P2P 型オーバーレイネットワーク上における管理ピア選定技術、インデックス管理手法に基づく構造型、非構造型モデルを採用したそれぞれの分散検索技術、そしてこれら技術を活用した分散ストリーミングサービスのプラットフォーム構築技術についてそれぞれのソフトウェア試作による評価を行い、提案技術のユビキタスサービス環境における適用性を検討した結果についてそれぞれ総括している。更に、これら提案技術の評価に基づき本研究による到達点および今後の技術的な展望について述べている。

以上を要するに、本論文は、今後想定されるユビキタスサービス環境において、ピアに分散するオブジェクトを対象とした分散検索を実現する技術と、その技術を活用した分散ストリーミングサービスの接続技術について明らかにし、提案技術の評価を通じて、実現性を検証したものであり、今後の電気通信分野に寄与するところ大である。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

2009 年 1 月 9 日

主査	早稲田大学	教授	博士(工学)(大阪大学)	小柳	恵一
	早稲田大学	教授	工学博士(早稲田大学)	石野	福弥
	早稲田大学	教授	工学博士(早稲田大学)	後藤	敏
	早稲田大学	教授	工学博士(早稲田大学)	吉江	修